Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir



Research Article
Vol. 23, No. 2, Summer 2025, p. 187-200

The Effect of Foliar Application of Zinc and Iron at Different Developmental Phases on the Quantitative and Qualitative Characteristics of Two Cultivars of Dryland Wheat (*Triticum aestivum* L.)

Sh. Ajam[1], A. Biabani[1*], R. Mohammadi[2], A. Rahemi Karizaki[1], H. Ghorbani Vaghei[3]

1- Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran
2- Agricultural and Horticultural Science Research Department, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Golestan Province, Gorgan, Iran
3- Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbadkavous University, Gonbadkavous, Iran
(*- Corresponding author's Email: abbas.biabani@gonbad.ac.ir)

Received: 05 July 2024 Revised: 07 November 2024 Accepted: 23 November 2024 Available Online: 11 March 2025	**How to cite this article:** Ajam, Sh., Biabani, A., Mohammadi, R., Rahemi Karizaki, A., & Ghorbani Vaghei, H. (2025). The Effect of Foliar Application of Zinc and Iron at Different Developmental Phases on the Quantitative and Qualitative Characteristics of Two Cultivars of Dryland Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *23*(2), 187-200. (In Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88774.1338

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is a widely cultivated crop across diverse soil types, and enhancing its yield, both quantitatively and qualitatively per unit area is a key agricultural priority in the country. Micro elements play a key role in improving the quality performance of products and even human health. Foliar spraying in arid and semi-arid areas, which affects the osmotic pressure of absorption and activity of these elements, is of special importance. t is essential to develop high-yielding cultivars with enhanced micronutrient uptake efficiency and strong tolerance to various stresses. Recently, Aseman and Paya dryland wheat cultivars have replaced other cultivars in Golestan province due to their higher yield, but there is no specific information about the agricultural characteristics of these cultivars, including their reaction to zinc and iron micronutrient fertilizers in the grain. Therefore, this study investigated the effects of zinc and iron fertilization, along with optimal foliar application timing, on the quantitative and qualitative traits of Aseman and Paya wheat cultivars under the climatic conditions of Gonbadkavous.

Materials and Methods

This study was conducted as factorial design based on randomized complete block design (RCBD) with three replications. The first factor was the foliar application of micronutrients at three levels (no micronutrient application or pure water, foliar application of 4‰ zinc chelate, and 6‰ iron chelate) and the second factor was the timing of foliar applications at three levels (application at the tillering stage, stem elongation stage, and grain filling stage). The third factor consisted of wheat cultivars (Aseman and Paya). In total therefor 18 treatments



https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88774.1338

were applied in each replication. Chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids were measured using the Arnon method one week after the implementation of all treatments. The Kjeldahl method was used to measure the protein content of the grain, and grain yield, grain concentrations of iron and zinc, and harvest index were calculated.

Results and Discussion

The results showed that the two cultivars Aseman and Paya had significant differences in grain yield and harvest index, number of spikelets, and the amount of chlorophyll and carotenoids. The foliar treatment (iron, zinc and no foliar application) caused a significant increase in the concentration of iron and zinc in the grain compared to the control, but it did not affect the grain performance, harvest index, grain protein percentage and chlorophyll pigments. The interaction effect of cultivar treatments foliar spraying time showed that the highest value of grain performance was obtained with the application of micronutrient elements in the stemming stage of the Paya cultivar with an average of 730 kg ha^{-1}. Basically, wheat nutrition in drylands is more complicated than in irrigated lands. Because in such conditions, the management of nutrients should be adjusted based on the expected moisture regime in the region.The amount of production in drylands is primarily influenced by weather conditions, especially rainfall, that is, in the conditions of applying proper agricultural management and choosing the right variety for the region, the optimal production will depend on the existence of favorable environmental conditions, as well as the cultivars adapted to the lands and regions.

Conclusion

Foliar application of zinc and iron, as a management strategy to improve the nutritional status of wheat under dry conditions, significantly increased the concentration of zinc and iron in the grain by 55% and 100%, respectively. However, under the prevailing drought conditions of the study area, this treatment did not result in a significant increase in grain yield, harvest index, or grain protein content. This shows that other factors such as water stress, inappropriate crop management and genetic characteristics of the variety play a more decisive role in wheat yield. Choosing the right cultivar that is compatible with environmental conditions is one of the factors that can help improve wheat yield. In this research, Paya variety with an average yield of 675 kg ha^{-1} showed better performance than Aseman variety with an average yield of 616 kg ha^{-1}. Also, the effect of variety x time of foliar spraying also had an effect on the yield and the best yield was observed in Paya cultivar with foliar spraying at the stemming stage with an average yield of 729 kg ha^{-1}. This agricultural method can be used as a short-term solution to reduce nutritional problems caused by the lack of these elements and improve food security indicators.

Acknowledgment

The cooperation of the Honorable Research Assistant of the Faculty of Agriculture of Gonbadkavos University in order to secure the credit of the project and the Honorable Head of the Gonbadkavos Agricultural Research Station for providing the grain s of the studied cultivars and the necessary cooperation are sincerely appreciated.

Keywords: Chlorophyll, Grain yield, Micronutrients

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۲، تابستان ۱٤۰٤، ص ۲۰۰-۱۸۷

اثر محلول‌پاشی روی و آهن در مراحل مختلف نموی بر ویژگی‌های کمّی و کیفی دانه دو رقم گندم دیم (*Triticum aestivum* L.)

شهرنوش عجم[۱]، عباس بیابانی[۱*]، رحمت‌اله محمدی[۲]، علی راحمی کاریزکی[۱]، حجت قربانی واقعی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کاربرد عناصر ریزمغذی (کلات آهن شش در هزار، کلات روی چهار در هزار و محلول‌پاشی آب به‌عنوان شاهد) به‌صورت محلول‌پاشی در مراحل مختلف رشد (پنجه‌زنی، ساقه‌دهی و پر شدن دانه) بر ویژگی‌های کمّی و کیفی دانه دو رقم گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) (آسمان و پایا)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد اجرا شد. در این بررسی، صفات عملکرد دانه، شاخص برداشت، تعداد سنبلچه در سنبله، غلظت روی، آهن، پروتئین دانه و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر رقم بر عملکرد دانه و شاخص برداشت و تعداد سنبلچه در سنبله و میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها معنی‌دار بود. تیمار محلول‌پاشی آهن و روی سبب افزایش معنی‌دار غلظت آهن و روی دانه نسبت به شاهد شد، امّا بر عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد پروتئین دانه و رنگیزه‌های کلروفیل تفاوت معنی‌داری نداشت. اثر متقابل تیمارهای رقم × زمان محلول‌پاشی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. بیشترین مقدارعملکرد دانه با کاربرد عناصر ریزمغذی در مرحله ساقه‌دهی رقم پایا با میانگین ۷۳۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در مجموع، می‌توان چنین استنباط نمود که کاربرد روی و آهن در شرایط اقلیمی منطقه به‌علت اختلال در سنتز کلروفیل و پروتئین‌سازی ناشی از خشکسالی به‌وجودآمده بر افزایش عملکرد گندم دیم مؤثر نبوده، امّا سبب افزایش غلظت آهن و روی دانه شد و ممکن است یک راهبرد امیدوارکننده برای بهبود امنیت غذایی و مقابله با کمبود عناصر ریزمغذی در انسان باشد.

واژه‌های کلیدی: کلروفیل، عملکرد دانه، عناصر ریزمغذی

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) از گیاهان زراعی است که در بیشتر خاک‌ها کشت می‌شود و افزایش کمّی و کیفی عملکرد آن در واحد سطح از مهم‌ترین اولویت‌های اجرایی کشور می‌باشد. سطح زیر کشت، تولید و عملکرد گندم در ایران به‌ترتیب ۶/۲ میلیون هکتار، ۱۴ میلیون تن و ۲۲۵۸ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAO, 2023). گندم دیم استان گلستان با سطحی معادل ۲۸۵/۶ هزار هکتار و عملکرد ۲/۲۴ تن در هکتار (حدود ۸۰/۷ درصد سطح زیر کشت و ۶۶/۷ درصد تولید گندم استان) جایگاه خاصی را در زراعت گندم منطقه دارد (Iran Statistics Center, 2017). تولید گندم در دیم‌زارهای گرمسیر کشور به‌دلیل عواملی از قبیل حجم و پراکنش بارش، خشکی آخر فصل، گرما و بروز بیماری‌ها با محدودیت‌های فراوانی روبه‌رو می‌باشد بنابراین توسعه ارقام پرپتانسیل، دارای قابلیت بالا برای جذب ریزمغذی‌ها و تحمل به تنش‌ها امری ضروری است. علاوه‌بر کودهای اساسی (NPK) که نقش مهمی در بهبود عملکرد کمّی محصولات دارند، عناصر میکرو نیز نقش کلیدی در بهبود عملکرد کیفی محصولات و حتی سلامت انسان دارند و نگرانی اصلی برای سوء تغذیه در سطح جهان است (Broadleyet, Brown,

۱- گروه تولیدات گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

۲- بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، گرگان، ایران

۳- گروه منابع طبیعی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبدکاووس، ایران

(*-نویسنده مسئول: Email: abbas.biabani@gonbad.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88774.1338

(Cakmak, Rengel, & Zhao, 2012).

محلول‌پاشی عناصر میکرو به جذب سریع عناصر از اندام‌ها و بافت‌های محصول کمک می‌کند (Azam Shah *et al*., 2016). این امر در مناطق خشک و نیمه‌خشک که فشار اسمزی جذب و فعالیت این عناصر را تحت تأثیر رفتار گیاه و زمان‌بندی محلول‌پاشی افزایش می‌دهد، اهمیت ویژه‌ای دارد (Shehata, Abdel-Azem, Abou El-Yazied, & El-Gizawy, 2010). آهن در زنجیره انتقال الکترون و سیتوکروم شرکت می‌کند (Rehman Farooq, Ozturk, ASIF, & Siddique, 2018) و نقش اساسی در سنتز کلروفیل، نمو کلروپلاست، انتقال الکترون، فتوسنتز و متابولیسم گیاهان دارد (Ghasemian, Ghalavand, Sorooshzadeh, & Pirzad, 2010). نتایج بررسی واکنش گندم دوروم به محلول‌پاشی با منابع مختلف و میزان کودهای آهن نشان داد که کاربرد آهن باعث افزایش فعالیت تمام آنزیم‌های برگ، کلروفیل برگ، پروتئین دانه، محتوای آهن و عملکرد دانه شده، ولی نوع کود آهن تأثیری بر فعالیت آنزیم‌ها نداشت، امّا بیشترین میزان کلروفیل، عملکرد دانه، آهن دانه و محتوای پروتئین با استفاده از دو گرم در لیتر نانو اکسید آهن، نسبت به سایر کودها (سولفات‌آهن و کلات‌آهن) حاصل شد و بعد از آن هشت گرم در لیتر سولفات‌آهن برای تولید گندم دوروم پیشنهاد گردید (Ghafari, & Razmjoo, 2015). نتایج دوساله در مطالعه‌ای برای تعیین تأثیر کاربردهای روی و آهن بر عملکرد گندم، جذب روی و آهن و غلظت آن در دانه نشان داد که محلول‌پاشی روی باعث افزایش غلظت روی و غلظت آهن در دانه‌ها به‌ترتیب ۹۹ و ۸ درصد گردید. محلول‌پاشی آهن باعث افزایش ۲۱ درصدی غلظت آهن و ۱۳ درصدی غلظت روی در دانه شد (Pahlavan Rad, & Pessarakli, 2009).

روی نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیک سلول، محافظت غشاء در مقابل ROS و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها ایفا می‌کند (Marschner, 1995). طبق گزارشی، کاربرد روی به‌صورت محلول‌پاشی باعث افزایش عملکرد، غلظت روی دانه و بهبود جوانه‌زنی با روی در مقایسه با ارقام تیمار نشده گندم شد (Shariatipour, Alavikia, Moghaddam, Velu, & Heidari, 2020). نتایج مطالعه‌ای سه‌ساله برای تعیین پاسخ ارقام گندم به محلول‌پاشی سولفات‌روی یک مرحله (ظهور سنبله) و دو مرحله (گل‌دهی و ظهور سنبله) بر روی تاج‌پوشش گیاه مشاهده شد، کاربرد روی در مرحله ظهور سنبله، غلظت روی دانه را به‌میزان ۸/۵ تا ۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش داد و با کاربرد عنصر روی در هر دو مرحله گل‌دهی و ظهور سنبله، غلظت عنصر روی به ۴۴/۳ و ۵۲/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم (در سال دوم و سوم) رسید. کاربرد دو بار استفاده از روی برای تولید دانه‌های با غلظت روی بالاتر از سطح هدف ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ضروری بود (Keshavarzafshar *et al*., 2020).

کمبود هر یک از عناصر آهن و روی باعث بی‌نظمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تولید هورمون‌های رشد و تشکیل کلروفیل می‌شود و موجب عدم توازن عناصر غذایی در گیاه و در نهایت کاهش کمّی و کیفی محصول، نمو ریشه و اندام هوایی، کاهش مقاومت محصول در برابر تنش‌های محیطی و در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Dimkpa & Bindraban, 2017).

محققان با بررسی تأثیر محلول‌پاشی آهن و روی در بهبود ویژگی‌های کمّی و کیفی سه رقم گندم نشان دادند که بین ارقام گندم در اثر محلول‌پاشی با آهن و روی از لحاظ عملکرد دانه، میزان روی و آهن اختلاف معنی‌دار وجود دارد. محققان در رابطه با واکنش چند رقم گندم نان به محلول‌پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن در دو منطقه با خاک‌های متفاوت به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی روی و آهن منجر به بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد دانه شد و محلول‌پاشی سولفات‌روی و سولفات‌آهن در هر دو منطقه با pH و شوری بالا، نتیجه بهتری در مقایسه با فرم کلاته این عناصر داشت. در نهایت، کشت ارقام جدید و محلول‌پاشی فرم‌های سولفاته روی و آهن برای تولید گندم در شرایط مشابه توصیه شد (Arzamjo, Behdani, Sohrabi, & Sadeghzadeh, 2016).

اثربخش بودن محلول‌پاشی عناصر ممکن است به عوامل متعددی بستگی داشته باشد که یکی از این عوامل، مرحله رشد گیاه است. در این زمینه، محققان نشان دادند که بیشترین غلظت روی در دانه گندم زمانی حاصل شد که محلول‌پاشی روی پس از مرحله گل‌دهی در مقایسه با کاربرد قبل از مرحله گل‌دهی استفاده شود (Ozturk *et al*., 2006; Cakmak, Pfeiffer, & McClafferty, 2010). طی بررسی دیگری از اثر محلول‌پاشی آهن بر عملکرد ارقام دیم به این نتیجه رسیدند که بهترین و مناسب‌ترین زمان محلول‌پاشی آهن برای گندم دیم در شرایط اقلیمی کرمانشاه زمان پنجه‌زنی گندم است (Yeganehpour, Kehrarian, Biginia, Moinirad, & Hosni Asl, 2012). همچنین در ارزیابی اثر عناصر کم‌مصرف آهن و روی بر عملکرد کمّی و کیفی گندم تحت تنش شوری در اقلیم خوزستان، کاربرد ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود روی (خاک کاربرد) و ۲/۵ کیلوگرم در هکتار کود آهن (کودآبیاری) در مرحله پنجه‌زنی در خاک‌های شور استان خوزستان پیشنهاد شد (Jafarnejhadi, MeskiniVishkaee, MousaviFazl, LotfaliAyeneh, & Behbahani, 2022). سلیم و همکاران (Selim, Adhikary, AlamMondal, AlamNadim & Akter, 2023) نیز با محلول‌پاشی روی شش درصد بر گیاه ماش در بنگلادش، افزایش تعداد گل، وزن هزار دانه، تعداد دانه در غلاف را گزارش کردند و افزایش عملکرد دانه و کاهش روز تا گل‌دهی را نسبت به شاهد اعلام کردند. گنجی و همکاران (Ganji, Khorgami, & Rafiei, 2013)

نتیجه گرفتند که تیمار محلول‌پاشی روی از اثربخشی بیشتری نسبت به سایر تیمارهای محلول‌پاشی (آهن و بور) بر عملکرد دانه ارقام دیم در آزمایش برخوردار است. بنابراین نیتروژن به‌صورت ترکیب با خاک و محلول‌پاشی روی و آهن، می‌تواند یک عمل کشاورزی خوب برای افزایش محتوای پروتئین و غلظت روی و آهن در غلات باشد و می‌تواند راهبرد امیدوارکننده‌ای برای رفع کمبود شود (Zhang *et al*., 2021; Kamai, & Isvand, 2019; Singh, Timsina, Lind, Cagno, & Janssens, 2018)، امّا تعیین حد بحرانی عناصر غذایی کم‌مصرف از اولویت‌های تحقیقاتی برای کاربرد و توصیه کودهای آهن و روی در گندم دیم می‌باشد، زیرا این حدود بحرانی می‌تواند معیاری در تشخیص نیاز و یا عدم نیاز به کاربرد این عناصر غذایی در خاک‌های مناطق مورد مطالعه باشد (Faizi Asl, Valizadeh, Toshih, Taliei, & Belson, 2004). در این رابطه، بلالی و همکاران (Bilali, Malkuti, Mashayikhi, & Khademi, 2000) بیان کردند که محدوده حد بحرانی آهن در کشور از دو تا هشت میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است و حد بحرانی روی را در خاک برای گندم آبی در شمال غرب کشور به‌طور متوسط ۰/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین کردند و همچنین فیضی اصل (Faizi Asl, 2009) حد بحرانی ۰/۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم را به‌عنوان حد بحرانی روی در خاک برای گندم دیم رقم سرداری در شمال غرب کشور اعلام کرد.

هدف از مطالعه محلول‌پاشی آهن و روی در ارقام گندم آسمان و پایا در شرایط دیم، برای بالا بردن تحمل گیاهان زراعی به شرایط نامساعد محیطی رشد، بالا بردن عملکرد و اجزای آن و نیز میزان آهن و روی و پروتئین دانه بود، اخیراً ارقام دیم گندم آسمان و پایا به‌علت عملکرد بیشتر و مقاومت به بیماری‌ها و کیفیت خوب نانوایی، جایگزین رقم‌های دیگر در استان گلستان شده است، ولی از خصوصیات زراعی این ارقام از جمله واکنش آن نسبت به کودهای ریزمغذی نظیر روی و آهن در دانه اطلاعات خاصی وجود ندارد. لذا در این تحقیق، اثر مصرف کود روی و آهن و زمان محلول‌پاشی مناسب در شرایط آب‌وهوایی گنبدکاووس بر ویژگی‌های کمّی و کیفی دانه گندم ارقام آسمان و پایا مطالعه شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبدکاووس (استان گلستان) طی سال زراعی ۰۲-۱۴۰۱ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. خصوصیات منطقه مورد مطالعه، ارتفاع از سطح دریا ۴۵ متر و طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب ۱۲´ و °۵۵ درجه شرقی و ۱۶´ و °۳۷ درجه شمالی و براساس آمار هواشناسی گنبدکاووس، متوسط بارش بلندمدت حدود ۴۵۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت ۱۸/۷۳ درجه سانتی‌گراد است (جدول ۱). عامل اول محلول‌پاشی عناصر در سه سطح شامل: عدم مصرف ریزمغذی (آب خالص)، محلول‌پاشی کلات روی چهار در هزار و کلات آهن شش در هزار و عامل دوم زمان‌های محلول‌پاشی در سه سطح شامل محلول‌پاشی در مرحله پنجه‌دهی، ساقه‌رفتن و پرشدن دانه و عامل سوم ارقام گندم آسمان و پایا است و در کل تعداد ۱۸ تیمار در هر تکرار کشت شد.

قبل از کاشت، ابتدا نمونه‌برداری خاک در عمق‌های ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد (جدول ۲). هر کرت شامل شش خط کاشت به‌طول چهار متر و فاصله خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. کاشت به‌صورت دستی صورت گرفت.

در طول دوره رشد، عملیات زراعی مانند کوددهی و مبارزه با علف‌های هرز و آفات برحسب ضرورت صورت گرفت. تراکم کاشت ۳۰۰ بذر در مترمربع در نظر گرفته شد. کشت به‌صورت دیم در ۲۱ آذرماه به‌محض حادث شدن اولین بارندگی مؤثر و پس از گاورو شدن زمین انجام شد، همچنین عملیات آماده‌سازی بستر بذر با دو بار دیسک عمود بر هم انجام شد.

جدول ۱- آمار هواشناسی بلندمدت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گنبدکاووس (۱۳۷۱-۱۴۰۰)

Table 1- Long-term meteorological statistics of Gonbad Kavous synoptic meteorological station(1992-2022)

	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May	تیر June	مرداد July	شهریور August	مهر September	آبان October	آذر November	دی December	بهمن January	اسفند February	میانگین ۳۰ ساله Average 30 years
میزان بارندگی (میلی‌متر) Quantitas pluviae (mm)	51.9	39.0	14.5	20.4	25.0	17.4	33.4	41.2	48.0	39.3	63.4	60.8	454.1
میانگین دما هوا (درجه سانتی‌گراد) Average air temperature (°C)	14.9	20.3	26.4	29.3	30.0	27.5	21.8	15.8	10.7	8.8	8.6	10.8	18.73

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک محل اجرای آزمایش (عمق صفر تا ٦۰ سانتی‌متر)

Table 2- Physical and chemical properties of soil (depth 0 to 60cm)

عمق خاک (cm)	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته گل اشباع pH	*درصد مواد خنثی T.N.V (%)	درصد کربن آلی OrganicC (%)	درصد ازت کل Total N (%)	فسفر قابل جذب P (ppm)	پتاسیم قابل جذب K (ppm)	درصد رس Clay (%)	درصد لای Silt (%)	درصد ماسه Sand (%)	کلاس بافت خاک **Soil texture class	آهن Fe (ppm)	منگنز Mn (ppm)	روی Zn (ppm)	مس Cu (ppm)	کلسیم Ca ($Meq\ l^{-1}$)	منیزیوم Mg ($Meq\ l^{-1}$)	سدیم Na ($Meq\ l^{-1}$)	نسبت جذب سدیم SAR
0-30	6.2	7.82	10.8	1.19	0.12	11.1	433	38	52	10	Si.C.L	0.97	52.2	0.68	1.63	5	10	23.5	8.58
30-60	9.1	7.82	11.8	1.05	۱۱.۰	6.9	320	37	52	11	Si.C.L	74.0	96.1	0.47	1.59	4.5	4.5	17.5	8.25

T.N.V: Total Neutralizing Value Indicates the percentage of a substance (usually lime or calcium carbonate) that has the ability to neutralize soil acidity.

T.N.V: درصدی از یک ماده (معمولاً آهک یا کربنات کلسیم) را نشان می‌دهد که توانایی خنثی کردن اسیدیته خاک را دارد.

** سیلتی-رسی لوم

یک هفته پس از اعمال کلیه تیمارها، نمونه‌برداری در سوم اردیبهشت، ۱۳۳ روز بعد از کاشت انجام شد و کلروفیل a،کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئید به‌روش آرنون اندازه‌گیری شد. مقادیر کلروفیل به میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ تبدیل شد و غلظت کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها با استفاده از فرمول‌های رابطه (۱) محاسبه شد (Arnon, 1967; Bagheri, Sinki, Firouzabadi Brothers, & Esfahalani, 2013).

(۱)

Chl a = (12/7A663 - 2/69A645) × V/W
Chl b = (22/9A 645 - 4 /68A663) × V/W
Chl. total = (20/2 (A645) + 8/02 (A663)) × V/W
C (x+c) = (7/6A480-1/49 (A510) × V/W

که در آن، Chla، Chlb، Chl.total و C (x+c) به‌ترتیب کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها، V: حجم نهایی استن مصرفی برحسب میلی‌لیتر و W: وزن بافت تر است.

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه با روش کجلدال، مقدار نیتروژن دانه را در زمان برداشت ۳۱ اردیبهشت ماه ۱۶۱ روز بعد از کاشت بذر برای هر تیمار حساب کرده و با روش تیتراسیون، از رابطه (۲) درصد نیتروژن، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین نمونه مورد نظر حساب شد (Helrich, 1990).

$$\text{درصد نیتروژن} = \frac{\mathbf{0.0014}\times \text{عدد حاصل از تیتراسیون}}{\text{وزن نمونه (گرم)}} \times ۱۰۰ \quad (۲)$$

درصد پروتئین = میزان نیتروژن × ۵/۸۳

درصد پروتئین × عملکرد دانه = عملکرد پروتئین دانه

برای اندازه‌گیری روی و آهن در دانه، ابتدا یک گرم از نمونه‌های بذور که از هر کرت آسیاب و وزن شد و در درون بوته چینی با حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد برای چهار ساعت در کوره الکتریکی قرار گرفت و خاکستر به‌دست‌آمده برای هر نمونه در اسیدکلریدریک دو مولار حل شده و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد روی هیتر قرار گرفت. پس از خارج شدن اولین بخار، محلول به‌دست‌آمده صاف شد و به‌وسیله آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید و بعد از آن مقدار روی و آهن در محلول‌های به‌دست‌آمده به‌وسیله دستگاه جذب اتمی خوانده شد (Malkuti, & Homai, 2013; Melash, Mengistua, Aberraa, & Alemtsehay, 2019).

پس از اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و مقایسات میانگین در صورت معنی‌دار بودن مقادیر F با آزمون LSD و در سطح احتمال خطای پنج درصد ($P\leq0.05$) انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر رقم بر عملکرد دانه و شاخص برداشت، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و تعداد سنبلچه در سنبله معنی‌دار بود، امّا بر درصد پروتئین دانه، غلظت آهن و روی دانه و کلروفیل a غیرمعنی‌دار بود، همچنین اثرهای تیمار محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی، آهن و آب (به‌عنوان شاهد)، به‌جز بر غلظت روی و آهن دانه با سایر صفات اختلاف معنی‌دار نداشت. اثر زمان محلول‌پاشی بر تمامی صفات غیرمعنی‌دار بود. اثر برهم‌کنش تیمار رقم × محلول‌پاشی نسبت به غلظت آهن و روی دانه اختلاف معنی‌دار نشان داد و بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت. همچنین اثرات برهم‌کنش تیمار رقم × زمان محلول‌پاشی بر عملکرد دانه معنی‌دار و بر سایر صفات غیرمعنی‌دار بود. اثر برهم‌کنش تیمار محلول‌پاشی × زمان محلول‌پاشی بر صفات مورد مطالعه غیرمعنی‌دار بود. همچنین اثرات برهم‌کنش رقم × محلول‌پاشی × زمان محلول‌پاشی بر صفات تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

عملکرد دانه

نتایج جدول مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۴) نشان داد که بیشترین میزان عملکرد مربوط به رقم پایا با میانگین ۶۷۵ کیلوگرم در هکتار با شاخص برداشت ۲۹/۵۳ درصد حاصل شد، درحالی‌که عملکرد رقم آسمان ۶۱۶ کیلوگرم در هکتار با شاخص برداشت ۲۳/۸۳ درصد به دست آمد. مقایسه میانگین اثر رقم × زمان محلول‌پاشی نیز بر عملکرد تأثیرگذار بود و بهترین عملکرد در رقم پایا با محلول‌پاشی در مرحله ساقه‌دهی با میانگین عملکرد ۷۲۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). کشاورز افشار و همکاران (Keshavarzafshar *et al.*, 2020) در آزمایش خود بیان کردند که کاربرد روی باعث افزایش اندک عملکرد دانه شد که بااین‌حال، این افزایش عملکرد برای جبران هزینه‌های تولید اضافی مرتبط با مصرف روی کافی نبود. در شرایط اعمال مدیریت زراعی در مناطق دیم، انتخاب رقم مناسب برای منطقه و تغذیه مطلوب به شرایط محیطی به‌ویژه بارندگی بستگی دارد. با توجه به خشکسالی ایجادشده در سال زراعی اجرای آزمایش، آب به‌عنوان عامل محدودکننده، مانع افزایش معنی‌داری بین عملکرد دانه تیمارهای محلول‌پاشی با شاهد شد (جدول ۶). اصولاً تغذیه گندم در دیمزارها نسبت به اراضی آبی از پیچیدگی بیشتری برخوردار است، زیرا که در چنین شرایطی، مدیریت عناصر غذایی باید براساس رژیم رطوبتی مورد انتظار در منطقه باشد، استفاده از آزمون خاک و توجه به حد بحرانی عناصر کم‌مصرف در خاک‌های زراعی گندم دیم، مقدار کود مورد نیاز برای دستیابی به عملکرد بهینه تنظیم شود، زیرا با کاهش بارندگی و دمای خاک، حد بحرانی عناصر غذایی در خاک (محدودیت جذب عناصر غذایی) افزایش می‌یابد و این شرایط مطابق با جدول ۲ و ۵، میزان آهن و روی (۰/۹۷ و ۰/۶۸) خاک نیاز به توجه و محاسبه حد بحرانی این عناصر است که احتمالاً میزان روی بیشتر از حد بحرانی می‌باشد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در شرایط محلول‌پاشی ارقام گندم دیم در زمان‌های مختلف

Table 3- Results of analysis of variance foliar application of zinc and iron at different developmental stages on the quantitative and qualitative characteristics of two cultivars of dryland wheat

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد سنبلچه Number of spikes	پروتئین دانه Grain protein	آهن دانه Grain Fe	روی دانه Grain Zn	کلروفیلa Chlorophyll a	کلروفیلb Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll total	کاروتنوئیدها Carotenoid
تکرار Replication	2	55134.57**	46.99ns	0.69ns	0.123ns	92.99ns	5.91ns	0.0085ns	0.0007ns	0.014ns	9.73ns
ارقام Cultivars	1	47348.17**	438.61**	9.37*	0.036ns	134.39ns	0.78ns	0.01ns	0.0053*	0.031*	29.83*
محلول‌پاشی Foliar application	2	4127.46ns	3.127ns	0.36ns	0.699ns	27343.5**	428.41**	0.0045ns	0.0028ns	0.014ns	8.08ns
زمان محلول‌پاش Foliar time application	2	6101.79ns	54.56ns	1.2ns	0.171ns	546.1ns	3.99ns	.0004ns	0.0003ns	0.001ns	1.17ns
رقم × محلول‌پاشی Cultivar × foliar application	2	7614.39ns	57.21ns	1.26ns	0.422ns	1521.84*	9.65*	0.0009ns	0.0012ns	0.003ns	1.7ns
رقم × زمان محلول‌پاشی foliar time applicatione × cultivar	2	41952.39**	122.58ns	2.62ns	1.296ns	294.23ns	2.33ns	0.0005ns	0.0002ns	0.0005ns	1.85ns
محلول‌پاشی × زمان محلول پاشی Foliar time application × Foliar application	4	5293.3ns	16.6ns	1.46ns	0.68ns	186.65ns	0.97ns	0.0011ns	0.0007ns	0.0024ns	1.52ns
رقم × محلول پاشی × زمان محلول‌پاشی Cultivar × foliar application × Foliar time application	4	12214.1ns	34.12ns	0.26ns	1.652ns	250.24ns	2.38ns	0.0023ns	0.0008ns	0.056ns	4.12ns
خطا Error	34	6308.04	54.06	2.007	0.723	400.91	3.07	0.0031	0.001	0.0073	7.011
ضریب تغییرات Cv (٪)		12.3	27.5	12.6	4.9	18.5	9.1	24.0	25.2	25.9	25.6

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم تفاوت معنی‌داری.

*, ** and ns: are significant at the 5 and 1 percent of probability levels and non-significant, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین تیمارهای مورد مطالعه بر برخی ویژگی‌های کمّی و کیفی گندم

Table 4- Mean comparison of Fe and Zn Foliar application effects at different developmental stages on the quantitative and qualitative characteristics of two cultivars of dryland wheat

تیمار Treatment	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت HI (%)	تعداد سنبلچه Number of spikes	پروتئین دانه Grain protein (%)	آهن دانه Grain Fe (ppm)	روی دانه Grain Zn (ppm)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g FW^{-1})	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g FW^{-1})	کلروفیل کل Chlorophyll total (mg g FW^{-1})	کاروتنوئیدها Carotenoid
ارقام Cultivars										
آسمان Aseman	616.3b*	23.837b	10.81 b	17.26a	109.51 a	19.14 a	0.25 a	0.107 a	0.35 a	11.07 a
پایا Paya	675.52 a	29.537a	11.64 a	17.31a	106.36 a	19.38 a	0.22 a	0.087 b	0.30 b	9.59 b
محلول‌پاشی Foliar application										
شاهد Control	629 a	26.67 a	11.39 a	17.08a	75.51 c	16 b	0.22 a	0.091 ab	0.31 a	9.8 a
محلول‌پاشی آهن Fe foliar application	650.5 a	27.11 a	11.11 a	17.47a	151.18 a	16.89 b	0.25 a	0.11 a	0.36 a	11.08 a
محلول‌پاشی روی Zn foliar application	658.22 a	26.28 a	11.19 a	17.31a	97.12 b	24.88 a	0.22 a	0.087 b	0.31 a	10.1 a
زمان محلول‌پاشی Foliar time										
پنجه‌زنی Tillering	665.06 a	28.69 a	11.11 a	17.37a	102.15 a	19.01 a	0.237 a	0.101 a	0.339 a	10.56 a
ساقه‌دهی Shoot elongation	644.33 a	25.77 a	11.52 a	17.18 a	108.54 a	19.81 a	0.238 a	0.097 a	0.335 a	10.42 a
پرشدن دانه Grain filing	628.33 a	25.58 a	11.05 a	17.31a	113.12 a	18.98 a	0.228 a	0.092 a	0.321 a	10.04 a

* میانگین‌ها در هر ستون و برای هر عامل که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند براساس آزمون.LSD در سطح احتمال ۵ درصد. تفاوت معنی‌داری ندارند.

*** Means with common letters do not show significant differences at the 5% level of the LSD test.**

جدول ٥- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم در زمان محلول‌پاشی بر عملکرد دانه

Table 5- The results of comparison of the average interaction effects of cultivars at the time of foliar application on grain yield

رقم Cultivar	زمان محلول‌پاشی Time foliar application	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
Aseman آسمان	Tillering پنجه زنی	658.6 b*
Aseman آسمان	Shoot elongation ساقه‌دهی	559.2 d
Aseman آسمان	Grain filing پرشدن دانه	631 c
Paya پایا	Tillering پنجه زنی	671.4 b
Paya پایا	Shoot elongation ساقه‌دهی	729.4 a
Paya پایا	Grain filing پرشدن دانه	625.6 c

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری نشان نمی‌دهد.

*Means with common letters do not show significant differences at the 5% level of the LSD test.

جدول ٦- آمار هواشناسی کوتاه‌مدت ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گنبدکاووس ١٤٠٢-١٤٠١

Table 6- Short-term meteorological statistics of Gonbad Kavous synoptic meteorological station 2022-2023

سال Year	ماه Month	دمای هوا Air temperature (°C) میانگین حداقل Average minimum	میانگین حداکثر Average maximum	میانگین Average	رطوبت نسبی هوا Relative humidity (%) میانگین حداقل Average minimum	میانگین حداکثر Average maximum	میانگین Average	مجموع بارندگی Total rainfall (mm)	مجموع تبخیر Total evaporaion (mm)	تعداد روزهای همراه با Number of days with بارندگی Rainfall (day)	یخبندان Freeze (day)
1401 2022	مهر September	18	31.5	24.7	36	83	60	12.3	129.8	6	0
1401 2022	آبان October	9.9	22.5	16.2	44	91	67	42.5	66.9	7	0
1401 2022	آذر November	6.5	16.6	11.6	55	90	72	27.2	50.1	6	0
1401 2023	دی December	0.9	13.9	7.4	40	86	63	8	30.4	6	10
1401 2023	بهمن January	1.4	13.9	7.6	43	86	65	19.7	33.7	8	10
1401 2023	اسفند February	7.3	22.5	14.9	38	89	64	9.3	80.4	11	1
1402 2023	فروردین March	9.5	24.3	16.9	40.4	88.8	64.6	26.6	122.5	5	0
1402 2023	اردیبهشت April	14.4	28.9	21.6	38	89	64	33.5	164.5	11	0
1402 2023	خرداد May	21.4	35.5	28.4	33	81	57	38.6	253.5	5	0

در این رابطه، بلالی و همکاران(Bilali *et al*., 2000) بیان کردند که محدوده حد بحرانی آهن در کشور از دو تا هشت میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است و فیضی اصل (Faizi Asl, 2009) نیز حد بحرانی ۰/۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم را به‌عنوان حد بحرانی روی در خاک برای گندم دیم رقم سرداری در شمال غرب کشور اعلام کرد.

خصوصیات کیفی

مقایسه میانگین اثر ساده تیمارها روی برخی از خصوصیات کیفی دانه گندم شامل پروتئین، غلظت آهن و روی دانه در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج مقایسه میانگین تیمار محلول‌پاشی بر درصد آهن و روی دانه نشان داد که بالاترین میزان آهن دانه ۱۵۱ پی‌پی‌ام نسبت به شاهد ۷۵/۵۱ پی‌پی‌ام با محلول‌پاشی آهن مشاهده شد و بیشترین میزان روی دانه ۲۴/۸۸ پی‌پی‌ام نسبت به شاهد ۱۶ پی‌پی‌ام با محلول پاشی تیمار روی به دست آمد. طبق گزارش شریعتی‌پور و همکاران (Shariatipour *et al*., 2020)، کاربرد روی به‌صورت محلول‌پاشی باعث افزایش عملکرد و غلظت روی دانه گندم شد.

مقایسه میانگین برهم‌کنش تیمارهای رقم × محلول‌پاشی بر غلظت آهن دانه (جدول ۷) نشان داد که بیشترین میانگین غلظت آهن دانه ۱۵۴ پی‌پی‌ام با کاربرد آهن شش در هزار در رقم آسمان حاصل شد و بیشترین میانگین غلظت روی دانه با کاربرد روی چهار در هزار به‌ترتیب ۲۵/۷۳ پی‌پی‌ام در رقم پایا و ۲۴/۰۲ پی‌پی‌ام در رقم آسمان بود. محلول‌پاشی روی و آهن باعث افزایش غلظت و جذب این عناصر غذایی در دانه شد، به‌طوری‌که محلول‌پاشی روی موجب افزایش ۵۵ درصدی غلظت روی دانه و محلول‌پاشی آهن ۱۰۰ درصد، غلظت آهن دانه را افزایش داد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که محلول‌پاشی روی، مقدار آهن دانه را نیز افزایش داده است، ولی با کاربرد محلول‌پاشی آهن، مقدار روی دانه تغییر معنی‌داری نداشت. در واقع، روی بر آهن اثر سینرژیست یا هم‌افزایی داشته است که نتایج مشابهی نیز توسط پیرسون و رنگل (Pearson & Rengel, 1994) و کوچیان (Kochian, 1991) گزارش شده است. احتمالاً غلظت این عناصر در بافت‌های گیاهی با محلول‌پاشی آن‌ها افزایش یافته است. سپس این عناصر در دانه‌ها دوباره توزیع شدند. مقدار هر عنصر غذایی در انتقال مجدد از طریق آوند آبکش تا حد زیادی به تحرک عنصر بستگی دارد (Garnett, & Graham, 2005). پیرسون و رنگل (Pearson & Rengel, 1994)، توزیع و انتقال مجدد روی و منگنز در طول رشد دانه در گندم را بررسی کردند و دریافتند که روی انتقال مجدد خوبی را نشان داد، امّا انتقال مجدد منگنز ضعیف بود که بیان کردند روی و منگنز ممکن است از مسیر استفاده‌شده توسط عناصر فسفر، پتاسیم و کربوهیدرات‌ها برای ورود به دانه استفاده نکنند. به گفته کوچیان (Kochian, 1991)، آهن دارای تحرک آبکش متوسط بوده است و به نظر کشاورز افشار و همکاران (Keshavarzafshar *et al*., 2020)، کاربرد دو بار استفاده از روی برای تولید دانه‌های با غلظت روی بالاتر از سطح هدف ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ضروری است. نتایج آزمایشی دوساله نشان داد که محلول‌پاشی روی باعث افزایش غلظت روی و غلظت آهن در دانه‌ها به‌ترتیب ۹۹ و ۸ درصد شد. محلول‌پاشی آهن باعث افزایش ۲۱ درصدی غلظت آهن و ۱۳ درصدی افزایش غلظت روی در دانه شد (Pahlavan Rad, & Pessarakli, 2009). نتایج حاصل از این تحقیق، نشان از عدم تأثیر مصرف کود آهن و روی در مراحل مختلف رشد و ارقام مختلف بر میزان پروتئین دانه داشته است. در این رابطه به کاربرد تقسیمی نیتروژن به‌صورت ترکیب با خاک همراه محلول‌پاشی روی و آهن، می‌توان اشاره کرد که به‌علت خشکسالی و عدم جذب مناسب اوره و کاهش نیتروژن، محلول‌پاشی آهن و روی بر محتوای پروتئین دانه گندم مؤثر نشد (جدول ۴).

صفات فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ارقام بر محتوای کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها معنی‌دار بود (جدول ۳). با مقایسه میانگین تیمار ارقام مشخص شد که میزان کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در رقم پایا نسبت به رقم آسمان بالاتر است، امّا سایر تیمارها بر صفات کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها غیرمعنی‌دار شد (جدول ۴). غریب عشقی و همکاران (Gharib Eshghi, Adelzadeh, Shiri, & Shahbazi, 2009) طی آزمایشی بر ژنوتیپ‌های گندم نشان دادند که ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به شرایط تنش در گندم، غشاء سیتوپلاسمی پایدارتر و غلظت کلروفیل بیشتری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس‌تر داشتند. طبق بررسی محققان، کاربرد آهن باعث افزایش فعالیت تمام آنزیم‌های برگ و کلروفیل برگ، پروتئین دانه، محتوای آهن، کربوهیدرات دانه و عملکرد دانه می‌شود (Ghafari, & Razmjoo, 2015). آرزمجو و همکاران (Arzamjo *et al*., 2016) طی مطالعه واکنش چند رقم گندم نان به محلول‌پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن در دو منطقه با خاک متفاوت به این نتیجه رسیدند که محلول‌پاشی روی و آهن منجر به بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد دانه شد و محلول‌پاشی سولفات روی و آهن در هر دو منطقه با pH و شوری بالا، نتیجه بهتری در مقایسه با فرم کلات روی و آهن دارد. در نهایت، کشت ارقام جدید و محلول‌پاشی فرم‌های سولفاته روی و آهن برای تولید گندم توصیه گردید.

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم در محلول‌پاشی بر روی برخی صفات مورد مطالعه در گندم
Table 7- Mean comparison results of interaction effects of cultivars in Foliar applicationZn, Fe

تیمار Treatimant			
رقم Cultivar	محلول‌پاشی Foliar application	آهن دانه Grain Fe (ppm)	روی دانه Grain Zn (ppm)
Aseman آسمان	Control شاهد	67.16 f*	15.91 d
Aseman آسمان	Fe foliar application آهن	154.45 a	17.5 b
Aseman آسمان	Zn foliar application روی	106.92 c	24.02 a
Paya پایا	control شاهد	83.86 e	16.15 c
Paya پایا	Fe foliar application آهن	147.9 b	16.28 c
Paya پایا	Zn foliar application روی	87.32 d	25.73 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح پنج درصد آزمون LSD تفاوت معنی‌داری نشان نمی‌دهد.
* Means with common letters do not show significant differences at the 5% level of the LSD test.

نتیجه‌گیری

محلول‌پاشی روی و آهن به‌عنوان یک روش مدیریتی برای بهبود وضعیت تغذیه‌ای گندم در شرایط دیم، اگرچه منجر به افزایش معنی‌دار غلظت عناصر روی و آهن در دانه به‌میزان ۵۵ و ۱۰۰ درصد شد، امّا اثر معنی‌داری بر افزایش عملکرد دانه، شاخص برداشت و پروتئین دانه در شرایط خشکسالی حاکم بر منطقه مطالعه نداشت. این امر نشان می‌دهد که عوامل دیگری مانند تنش آبی، مدیریت زراعی نامناسب و خصوصیات ژنتیکی رقم، نقش تعیین‌کننده‌تری در عملکرد گندم دارند. انتخاب رقم مناسب و سازگار با شرایط محیطی، از جمله عواملی است که می‌تواند به بهبود عملکرد گندم کمک کند. در این تحقیق، رقم پایا با میانگین عملکرد ۶۷۵ کیلوگرم در هکتار، عملکرد بهتری نسبت به رقم آسمان با میانگین عملکرد ۶۱۶ کیلوگرم در هکتار داشت. همچنین، اثر رقم × زمان محلول‌پاشی نیز بر عملکرد تأثیرگذار بود و بهترین عملکرد در رقم پایا با محلول‌پاشی در مرحله ساقه‌دهی با میانگین عملکرد ۷۲۹ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. در نهایت، به نظر می‌رسد که با استفاده از محلول‌پاشی روی و آهن می‌توان عملکرد کیفی گندم را در خاک‌هایی که با کمبود روی و آهن مواجه هستند بهبود بخشید، امّا این روش به‌زراعی می‌تواند به‌عنوان راهکار کوتاه‌مدت برای کاهش مشکلات تغذیه‌ای ناشی از کمبود این عناصر و بهبود شاخص‌های امنیت غذایی مورد کاربرد قرار گیرد و برای راهکار بلندمدت و افزایش عملکرد با مصرف خاکی روی و آهن برای سال‌های متعدد پیشنهاد شود.

سپاسگزاری

از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبدکاووس به‌جهت تأمین اعتبار پروژه و ریاست محترم ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبدکاووس جهت تأمین بذر ارقام مورد مطالعه و همکاری لازم صمیمانه قدردانی می‌شود.

References

1. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.
2. Arzamjo, A., Behdani, M. A., Sohrabi, M., & Sadeghzadeh, B. (2016). Response of some bread wheat cultivars to foliar application of Zn and Fe different forms in two locations with different soil properties. *Iranian Agricultural Research Journal*, *16*(1), 203-216. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v16i1.61570.
3. Azam Shah, S., Mohammad, W., Shahzadi, S., Elahi, R., Al, A., Basir, A., & Haroon, A. (2016). The effect of foliar application of urea, humic acid and micronutrients on potato crop. *Iran Agricultural Research*, *35*(1), 89–94. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22099/iar.2016.3680
4. Bagheri, A., Sinki, J. M., Firouzabadi Brothers, M., & Esfahalani, M. A. (2013). The effect of salicylic acid foliar spraying on the amount of pigments and chlorophyll fluorescence of sesame cultivars under the condition of interruption of irrigation. *Journal of Crop Ecophysiology*, *7*(3), 327-340.
5. Bilali, M. R., Malkuti, M. J., Mashayikhi, H., & Khademi, Z. (2000). The effect of micronutrient elements on

increasing yield and determining their critical limit in Iranian water wheat cultivated soils. *Journal of Soil Research*, *12*(6) (special paper on wheat).
6. Broadleyet, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., & Zhao, F. (2012). *Functions of Nutrient: Micronutrients.* P Marschner (Ed.). Marschner’s mineral nutritionof higher plants, 3rd Ed. Elsevier, Oxford, pp. 243–248.
7. Cakmak, I., Pfeiffer, & McClafferty, W. H., (2010). Biofortification of durum wheat with zinc and iron. *Cereal Chemistry, 87*, 10–20. https://doi.org/10.1094/CCHEM-87-1-0010
8. Dimkpa, O., & Bindraban, S. (2017). Fortification of micronutrients for efficient agronomic production. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*(7), 5–33. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0346-6
9. Faizi Asl, V. (2009), Comparison of different methods of determining the critical limit of zinc in soils under dry wheat cultivation. *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries), 22*(2). (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i22.1011
10. Faizi Asl, V., Valizadeh, G. R., Toshih, V., Taliei, A. A., & Belson, V. (2004). Determining the critical limit of low consumption elements in rainfed wheat soils in northwest Iran. *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, *5*(4), 236-247. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.377878.669731
11. Ganji, K., Khorgami, A., & Rafiei, M., (2013). *The effect of foliar application of zinc, iron and boron on the yield and yield components of three varieties of rainfed wheat (Kohdasht, Karim and Zagros) in Kohdasht region.* The First National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources Tehran, Iran.
12. Garnett, T. P., & Graham, R. D. (2005). Distribution and remobilization of iron and copper in wheat. *Annals of Botany*, *95*, 817–826. https://doi.org/10.1093/aob/mci085
13. Ghafari, H., & Razmjoo, J. (2015). Response of durum wheat to foliar application of varied sources and rates of iron fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *17*, 321-331. http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2015.17.2.21.4
14. Gharib Eshghi, A., Adelzadeh, R., Shiri, M. R., & Shahbazi, K. (2009). The effect of winter cold on cytoplasmic membrane stability, chlorophyll content and crown depth in a number of spring and winter wheat genotypes in Ardabil region. *Crop Production Magazine*, *3*(2), 255-262.
15. Ghasemian, V., Ghalavand, A., Sorooshzadeh, A., & Pirzad, A. (2010). The effect of iron, zinc and manganese on quality and quantity of soybean seed. *Journal of Phytology, 2*, 73-79.
16. Helrich, K. (1990). Association of official analytical chemists. 15th Edition. Volume 1. AOAC, Incorporated. Pp. 673.
17. https://www. FAO.org. (2023). The State of Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
18. Iran Statistics Center. (2017). Summary of the results of the agriculture statistics plan.
19. Jafarnejhadi, A. R., MeskiniVishkaee, F., MousaviFazl, M. H., LotfaliAyeneh, Gh., & Behbahani, L. (2022). Evaluating the effect of iron and zinc micronutrient on wheat quantitative and qualitative yield under salinity stress in Khuzestan climate. *Agricultural Engineering (Agricultural Scientific Journal)*, *44*(4) 367-379. https://doi.org/10.22055/agen.2022.39694.1625
20. Kamai, H., & Isvand, H. R. (2019). The effect of iron, zinc and manganese solution spraying on physiological, agronomic and protein traits of wheat under end-of-season heat stress. *Environmental Tensions in Agricultural Sciences*, *13*(1), 285-295. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1888.1452
21. Keshavarzafshar, R., Chen, Ch., Zhou, Sh., Etemadi, F., He, H, & Li, Zh. (2020). Agronomic and economic response of bread wheat to foliar zinc application. *Agronomy Journal*, *112*(5), 4045-4056. https://doi.org/10.1002/agj2.20247
22. Kochian, L. V. (1991). Mechanisms of micronutrient uptake and translocation in plants. In Micronutrients in Agriculture, J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, & R. M. Welch (Eds.). pp. 229–296. Madison, Wisc.: Soil Science Society of America.
23. Malkuti, M. J., & Homai, M. (2013). Fertility of soils in arid and semi-arid regions. Publications of TarbiatModares University, Tehran, Iran. Second Edition, 488 pp.
24. Marschner, H., (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd Ed. Academic Press, New York.
25. Melash, A. A., Mengistua, D. K., Aberraa, D. A., & Alemtsehay, T. (2019). The influence of seeding rate and micronutrients foliar application on grain yield and quality traits and micronutrients of durum wheat. *Journal of Cereal Science*, *85*, 221-227. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.08.005
26. Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H. J., Sayers, Z., & Cakmak, I. (2006). Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. *Physiologia. Plantarum, 128*, 144-152. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00737.x
27. Pahlavan Rad, M. R., & Pessarakli, M. (2009). Response of wheat plants to zinc, iron, and manganese applications and uptake and concentration of zinc, iron, and manganese in wheat grains. *Soil Science and Plant Analysis*, *40*, 7-8.
28. Pearson, J. N., & Rengel, Z. (1994). Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. *Journal of Experimental Botany*, *45*, 1829–1835. https://doi.org/10.1093/jxb/45.12.1829

29. Rehman, A., Farooq, M., Ozturk, L., Asif, M., & Siddique, K. H. M. (2018). Zinc nutrition in wheat-based cropping systems. *Plant Soil, 422*, 283–315. https://doi.org/10.1007/s11104-017-3507-3

30. Selim, R., Adhikary, S., AlamMondal, M., AlamNadim, K., & Akter, B. (2023). Foliar application of different levels of zinc and boronon the growth and yield of mungbean. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *11*(8), 1415-1421. https://doi.org/10.24925/turjaf.v11i8.1415-1421.6107.

31. Shariatipour, N., Alavikia, S., Moghaddam, M., Velu, G., & Heidari, B. (2020). Foliar applied zinc increases yield, zinc concentration and germination in wheat genotypes. *Agronomy Journal, 112*(2), 961-974. https://doi.org/10.1002/agj2.20117

32. Shehata, S. M., Abdel-Azem, H. S., Abou El-Yazied, A., & El-Gizawy, A. M. (2010). Interactive effect of mineral nitrogen and biofertilization on the growth, chemical composition and yield of Celeriac plant. *European Journal of Scientific Research, 47*, 248–255.

33. Singh, B. R., Timsina, Y. N., Lind, O. C., Cagno, S., & Janssens, K. (2018). Zinc and iron concentration as affected by nitrogen fertilization and their localization in wheat grain. *Frontiers in Plant Science, 9*, 307. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00307

34. Yeganehpour, F., Kehrarian, B., Biginia, V., Moinirad, A., & Hosni Asl, N. (2012). The effect of iron application on some morphological and qualitative traits of dry wheat. *Journal of Agricultural Sciences, 5*(19), 125-135.

35. Zhang, P. P., Chen, Yu. lu., Wang Ch. Y., MA, G., Lu, J. J., Liu J. B., & Guo, T. C. (2021). Distribution and accumulation of zinc and nitrogen in wheat grain pearling fractions in response to foliar zinc and soil nitrogen applications. *Journal of Integrative Agriculture, 20*(12), 3277–3288. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63491-8